

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ

THE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL METHOD OF PARAMETER IDENTIFICATION OF RHEOLOGICAL RELATIONS

И.М. Березин, А.Г. Залазинский, И.О. Устинов
Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина
v.ustinov@mail.ru

Abstract

For computer simulations of the plastic deformation of heterogeneous materials necessary correct formulation of boundary value problems in the mechanics of deformable bodies, which is impossible without the use of rather complex rheological models plastically compressible media, describing the processes of plastic flow of non-compact and porous materials.

The Identification of model of the stress was made on the basis of simulation modeling deformation of the cell by means of a representative volume of Abaqus.

Based on the flow conditions of process simulation performed molding parts of complex shape from a metal powder as an example of copper rotary ring.

It is shown that when forming part density changes of deformable material, which depends on the stress-strain state of the various parts of the compact.

Постоянно расширяющаяся область применения изделий полученных из порошковых и пористых материалов, обладающих существенной пластической сжимаемостью, требует углубленного теоретического анализа технологических аспектов их изготовления. Основной стадией, предшествующей разработке новых технологических процессов пластического деформирования таких материалов, является математическое и имитационное моделирование. Использование традиционных подходов механики сплошной среды, в частности с привлечением гипотезы об изотропности и однородности деформируемого материала, во многих случаях оказывается недостаточным. В связи с тем, что необходимо учитывать неоднородность структуры материала, геометрию дефектов и изменение их при конечных деформациях, применяются подходы механики структурно-неоднородных и гетерогенных сред, в частности вводится некоторая исходная структура пористого тела и анализируется деформация элементов структуры. В настоящее время существует ряд работ, в которых рассмотрены и обобщены основные положения, используемые при решении задач механики структурно-неоднородных материалов. Однако проблема количественного описания всего многообразия процессов деформирования порошковых и пористых сред, не может считаться окончательно решенной. Развитие теории осуществляется путем расширения класса фигур, представляющих собой характерный объем пористого тела, изучения взаимодействия частиц каркаса пористого тела, образованного этими фигурами, и особенностей деформирования

составленного из названных фигур материала. Практический интерес к решению подобных задач вызван развитием программ для инженерных и технологических расчетов, интегрированных в автоматизированные системы проектирования технологических процессов.

Необходимо отметить, что для компьютерного моделирования процессов пластического деформирования структурно-неоднородных материалов необходима корректная постановка краевых задач механики деформируемого тела, что невозможно без применения достаточно сложных реологических моделей пластически сжимаемых сред, описывающих процессы пластического течения некомпактных и пористых материалов. Существующие методики определения таких моделей опираются на экспериментальное изучение поведения пластически сжимаемых материалов при высоких давлениях. Однако, выполнение экспериментальных исследований не всегда возможно на существующем оборудовании, в особенности это относится к исследованию поведения трудно-деформируемых материалов.

Идентификация модели текучести производилась на основе имитационного моделирования деформации ячейки представительного объема при помощи системы Abaqus. Схемы нагружения ячеек представительных объемов пористой и порошковой деформируемой среды показаны на рис. 1. Результаты компьютерного моделирования показаны на рис. 2-4.

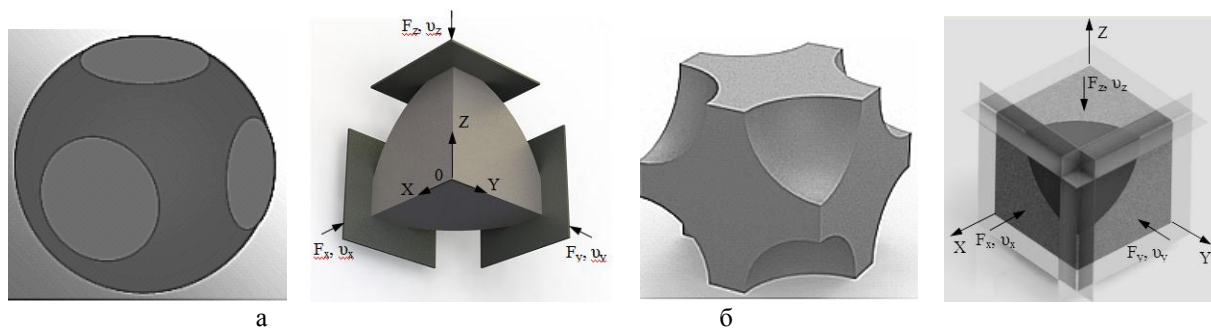


Рис.1. Модели и схемы нагружения ячеек представительных объёмов пористой (а) и порошковой (б) деформируемой среды:

а – сферическая частица с многогранной порой (порошковое тело),
б – кубическая частица со сферической порой (пористое тело)

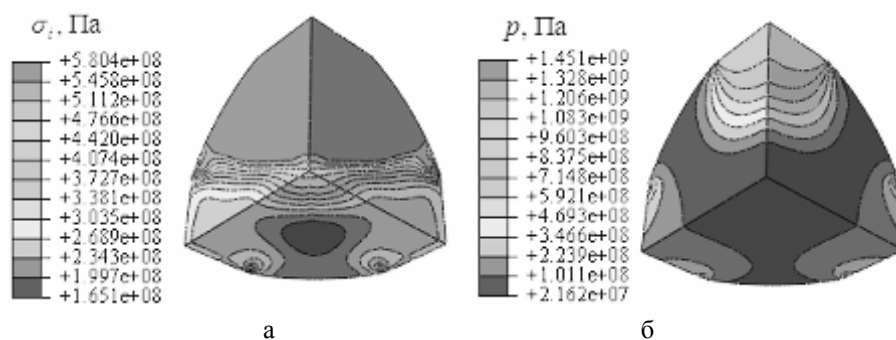


Рис.2. Определение полей интенсивности напряжений σ_i (а) и средних нормальных давлений p (б) в представительном объёме (1/8 часть) титановой губки (исходная пористость $\theta=0,32$) при сжатии в закрытой пресс-форме

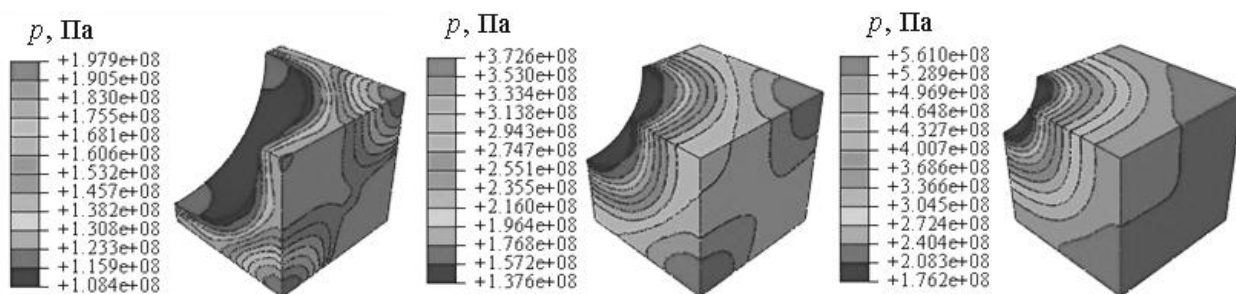


Рис.3. Определение полей средних нормальных давлений в ячейке объёма пористой меди при гидростатическом сжатии

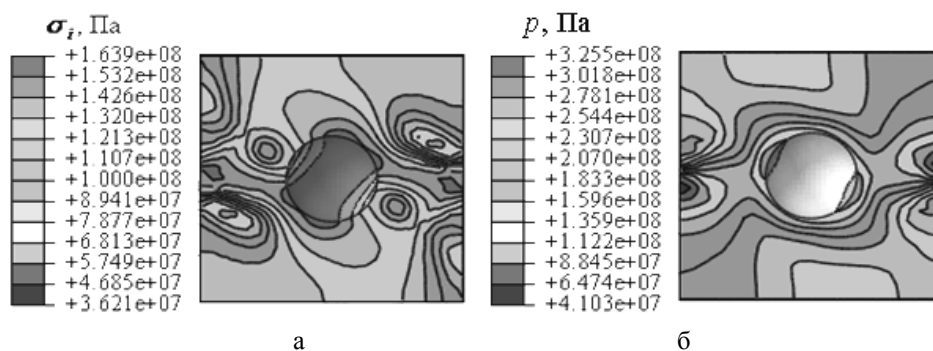


Рис.4. Результаты имитационного моделирования деформации сдвига ячейки представительного объёма пористой меди:
а – интенсивность напряжений; б – поле среднего нормального напряжения

Выполненные экспериментальные исследования и компьютерное моделирование процессов пластического деформирования

порошковых материалов позволило определить кривые текучести для порошков меди ПМС-1, титановой губки и сплава ВТ22 (рис. 5).

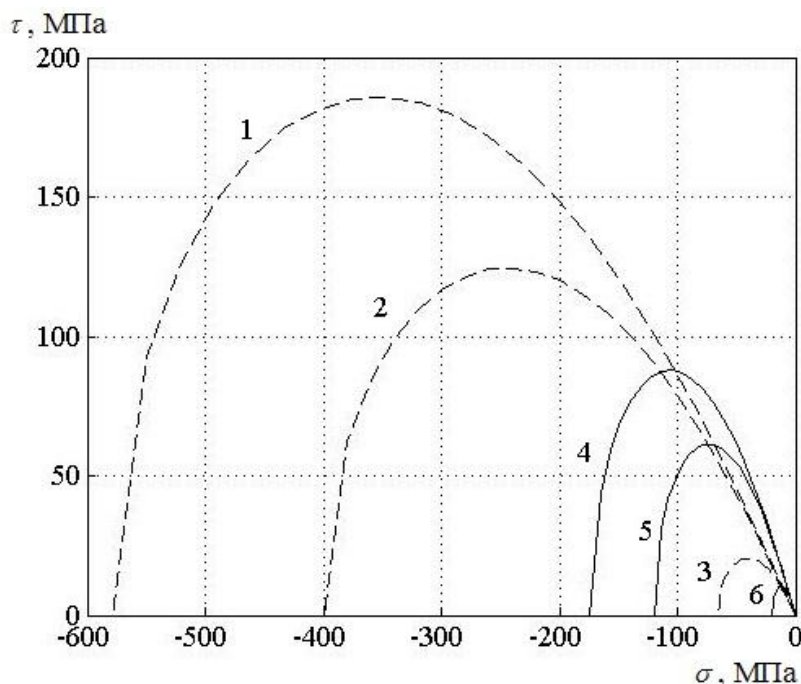


Рис. 5. Кривые текучести для пористости $\theta = 0,2$ (штриховые линии) и пористости $\theta = 0,4$ (сплошные линии) для порошков: ВТ-22 (1, 4); губка Ti (2, 5); ПМС-1 (3, 6)

Результаты численного эксперимента для процессов деформирования ячеек представительного объема аппроксимируются следующим уравнением (см. табл.1):

$$\frac{p}{\tau_s} = \alpha \cdot \ln \theta + \beta, \quad (1)$$

где p - давление прессования, θ – пористость, τ_s - предел текучести на сдвиг материала в компактном состоянии.

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации функции (1)

Состояние деформируемой среды	Всестороннее равномерное сжатие		Прессование в закрытой пресс-форме		Чистый сдвиг
	α	β	α	β	φ
Пористая	-1,41	-0,62	-1,43	-0,45	0,15
Порошковая	-1,28	-0,8	-1,3	-0,58	0,12

Результаты численного эксперимента для процесса чистого сдвига ячейки пористого тела аппроксимируются следующим уравнением:

$$\frac{\tau_s^*}{\tau_s} = 1 - \theta^\varphi, \quad (2)$$

где τ_s^* - предел текучести на сдвиг пористого материала, θ – пористость, τ_s - предел

текучести на сдвиг материала в компактном состоянии.

Аппроксимирующее уравнение зависимости коэффициента бокового давления от пористости:

$$\chi = \exp(-4,37 \cdot \theta), \quad (3)$$

где θ – пористость брикета в интервале $0 < \theta < 0,5$, χ – коэффициент бокового давления.

На основе полученных условий текучести осуществлено имитационное моделирование процесса формования детали сложной формы из

металлического порошка, на примере медного роторного кольца (рис. 6, а), предназначенного для электродвигателей переменного тока. Исследовано влияние пластификатора, в качестве которого

использован стеарат цинка, на давление прессования и равномерность распределения плотности по объему прессовки. Результаты моделирования показаны на рис. 6-7.

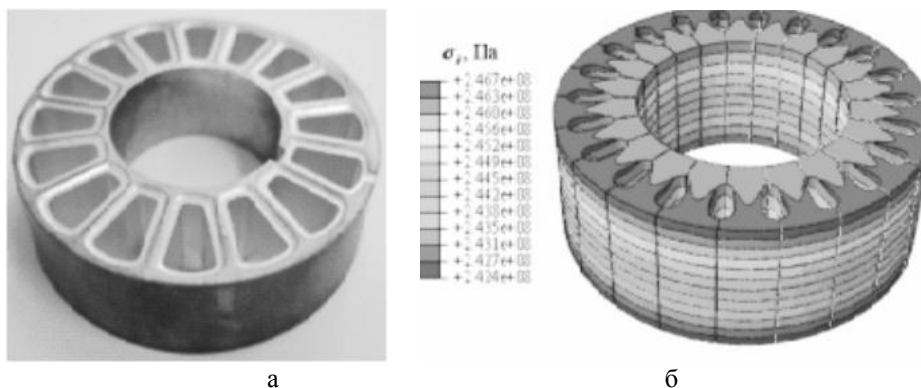


Рис. 6. Определение напряжённого состояние роторного кольца

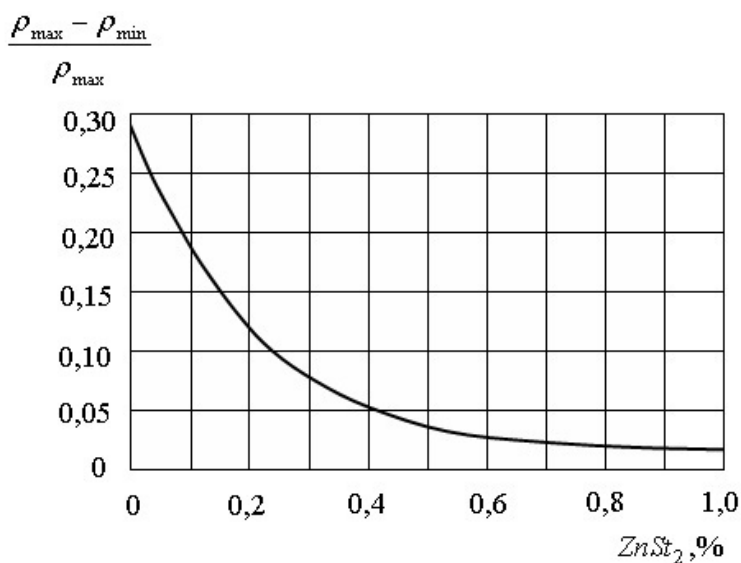


Рис. 7. Зависимость неравномерности распределения плотности по высоте кольца от содержания $ZnSt_2$

Показано, что при формировании детали происходит изменение плотности деформируемого материала, зависящее от напряжённо-деформированного состояния различных частей прессовки. Определено влияние сил трения на процесс формования меди с пластификатором, в качестве которого использовали стеарат цинка. Показано, что повышение содержания в медном порошке стеарата цинка до 0,7% снижает давление прессования на 12%, а неравномерность распределения относительной плотности (разница между максимальной и минимальной плотностью, отнесенная к максимальной) с до 0,02. Результаты моделирования позволили выбрать оптимальное (0,5-0,7%) количество пластификатора.

Список литературы

1. Друянов Б.А. Прикладная теория пластичности пористых тел. -М.: Машиностроение, 1989. - 168 с.

2. Лаптев А.М. Критерии пластичности пористых материалов // Порошковая металлургия. - 1982. - № 7. - С. 12-17.

3. Залазинский А.Г. Пластическое деформирование структурно-неоднородных материалов. - Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. - 495 с.

4. Бриджмен П.У. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. Влияние высокого гидростатического давления на механические свойства материалов. - М.: ТЖ88, 2010. - 444 с.

5. Гидростатическое формирование порошков / В.Я. Буланов [и др.]. – Екатеринбург: Наука, 1995. – 298 с.

6. Наземцев А.С., Рыбальченко Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Ч. 2. Гидравлические приводы и системы. Основы: учеб. пособие. - М.: Форум, 2007. - 304 с.

7. Колмогоров В.Л. Пластичность и разрушение. – М.: Металлургия, 1977